

Aspekty prawne składowania odpadów przemysłowych w kawernach solnych w Kanadzie

Legal aspects of industrial waste storage in salt caverns in Canada

Piotr KUKIAŁKA

Kukialka Consulting Ltd., 207 Glamorgan Pl SW, Calgary, AB T3E 5B9, Kanada; e-mail: piotr_kukialka@hotmail.com

STRESZCZENIE

Zachodnia Kanada jest obok Stanów Zjednoczonych największym użytkownikiem kawern do składowania odpadów przemysłowych na świecie. Bezpośrednio związane jest to z główną gałęzią gospodarki, jaką jest przemysł wydobywczy węglowodorów. Tak powszechne ich zastosowanie w tych krajach jest możliwe dzięki istnieniu dokładnych i przejrzystych przepisów dotyczących ich budowy oraz eksploatacji. W Kanadzie szczegółowe zalecenia dotyczące składowania odpadów w kawernach solnych zostały określone przez *Canadian Standard Association (CSA)*. Najnowsza ich wersja została opublikowana w biuletynie Z341-22 wydanym przez *Canadian Standards Association*. Kolejnym aspektem ich użytkowania jest sposób utylizacji wyprodukowanej podczas ich budowy i eksploatacji solanki, która jest zatłaczana do otworów zrzutowych. W Albercie przepisy dotyczące otworów zrzutowych regulowane są przez *Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements* wydane przez *Energy Resources Conservation Board*. Określają one dokładnie substancje dozwolone do zatłaczania do otworów zrzutowych, jak i te, których zatłaczanie jest absolutnie niedopuszczalne.

Słowa kluczowe: kawerny solne, kawerny do składowania odpadów, otwory zrzutowe solanki, zrzut solanki, regulacje prawne, Canadian Standards Association, Z341-22, Directive 051, Kanada

ABSTRACT

Western Canada, alongside the United States, is one of the world's largest users of caverns for industrial waste storage. This is directly related to the economy's primary sector, the hydrocarbon extraction industry. Their widespread use in these countries is made possible by precise and transparent regulations regarding their construction and operation. In Canada, detailed guidelines for the storage of waste in salt caverns have been established by the *Canadian Standards Association (CSA)*. The latest version was published in the Z341-22 bulletin issued by the CSA. Another aspect of their use is the disposal method for the brine produced during their construction and operation, which is injected into disposal wells. In Alberta, regulations regarding disposal wells are governed by *Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements* issued by the *Energy Resources Conservation Board*. This directive precisely defines the substances permitted for injection into disposal wells, as well as those whose injection is strictly prohibited.

Keywords: salt caverns, waste storage caverns, brine disposal wells, brine discharge, regulatory frameworks, Canadian Standards Association, Z341-22, Directive 051, Canada

1. WSTĘP

Najmniej znanym typem kawern solnych są kawerny przeznaczone do składowania odpadów. Historia powstania

1. INTRODUCTION

The least known type of salt caverns are those used for waste storage. The origins of this practice trace back to the early 1960s, when the first cavern for the underground

pierwszej z nich sięga początków lat 60-tych ubiegłego wieku, kiedy to w Anglii powstała pierwsza kawerna do podziemnego składowania odpadów pochodzących z przemysłu chemicznego (Hoather, Challinor, 1994; Thoms, Gehle, 2000). Od tego czasu w Europie kawerny tego typu funkcjonują również w ograniczonym zakresie w Holandii (Wassmann, 1983). Jednak generalnie wiedza o ich istnieniu oraz o zasadach ich funkcjonowania zarówno w Polsce, jak i w Europie, jest bardzo znikoma. Największy rozkwit tej technologii nastąpił w XXI wieku w Zachodniej Kanadzie oraz Stanach Zjednoczonych (Brassow, 2000, 2006). W Zachodniej Kanadzie jest to ściśle związane z specyfiką jej gospodarki, szczególnie w prowincji Alberta, której główną gałęzią jest przemysł naftowy, zaś kawerny przeznaczone są do składowania odpadów związanych z wydobywaniem gazu ziemnego, ropy naftowej oraz ciężkich bituminów smolistych. Początkowo do tego celu wykorzystywano wyeksploatowane kawerny poprodukcyjne solanki, jednak wraz ze wzrostem zapotrzebowania na bezpieczne składowanie odpadów przemysłowych, rozpoczęto budowę kawern specjalnie zaprojektowanych i przeznaczonych, już od początku, wyłącznie jako składowiska odpadów. W obecnej chwili w Zachodniej Kanadzie, kawerny tego typu stanowią około 30% wszystkich budowanych kawern solnych. Dodatkowo, poza przemysłem naftowym, w mniejszym stopniu eksploatowane są przez przemysł chemiczny wykorzystujący solankę jak surowiec do swojej produkcji.

Produktem ubocznym powstającym podczas eksploatacji kawern solnych jest solanka. Ze względu na niską cenę soli, produkcja NaCl z solanki jest nieopłacalna i z tego względu stanowi ona odpad podlegający utylizacji. Natomiast, najłatwiejszym sposobem na jej pozbycie się jest zatłoczenie jej do górotworu. Tego typu działanie regulowane jest przez przepisy zawarte w *Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements* z wydane przez *Energy Resources Conservation Board*. Określa ono dokładnie strefy ochronne wód podziemnych oraz substancje zawarte w wodzie, których zatłaczanie jest dozwolone oraz te których jest bezwzględnie zabronione

2. REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE KAWERN SOLNYCH

Regulacje prawne dotyczące budowy oraz eksploatacji kawern solnych w Kanadzie są bezpośrednio połączone ze specyfiką tego kraju. Kanada stanowi federację prowincji i terytoriów. Z tego względu jej konstytucja dzieli władzę między rząd federalny i rządy poszczególnych prowincji. Zarząd nad surowcami mineralnymi i ich eksploatacją pozostaje w gestii poszczególnych prowincji, zaś rząd federalny sprawuje jurysdykcję jedynie w terytoriach. Z tego względu w Kanadzie nie istnieją ogólnokrajowe przepisy dotyczące budowy oraz eks-

storage of chemical industry waste was created in England (Hoather, Challinor, 1994; Thoms, Gehle 2000). Since then, similar caverns have been used, though to a limited extent, in the Netherlands (Wassmann, 1983). Despite this, knowledge about these caverns and their operational principles remains minimal both in Poland and across Europe. The most significant expansion of this technology occurred in the 21st century in Western Canada and the United States (Brassow, 2000 and 2006). In Western Canada, particularly in Alberta, this development is closely linked to the region's oil industry. Caverns in this area are primarily used for the disposal of waste associated with the extraction of natural gas, crude oil, and heavy bituminous sands. Initially, decommissioned caverns from brine production were used for this purpose. However, with the growing demand for safe industrial waste disposal, the construction of caverns specifically designed and intended solely for waste storage began. Currently, such caverns account for approximately 30% of all salt caverns built in Western Canada. Additionally, while the oil industry is the main user, the chemical industry also utilizes these caverns to a lesser extent for storing brine used as a raw material for production.

A byproduct of operating salt caverns is brine. Due to the low price of salt, producing NaCl from brine is economically unviable, making brine a waste product that requires disposal. The simplest method for disposing of it is to inject it into the rock mass. This activity is regulated by *Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements*, issued by the *Energy Resources Conservation Board*. The directive provides detailed guidelines on protective zones for groundwater and specifies which substances in the water can be injected, as well as those that are strictly prohibited.

2. LEGAL REGULATIONS CONCERNING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF SALT CAVERNS IN CANADA

The legal regulations regarding the construction and operation of salt caverns in Canada are directly linked to the country's specific governance structure. Canada is a federation of provinces and territories, and its constitution divides powers between the federal government and the provincial governments. The management of mineral resources and their exploitation falls under the jurisdiction of the individual provinces, while the federal government has jurisdiction only in the territories. As a result, there are no nationwide regulations for the construction and operation of salt caverns in Canada. The regulation of these activities, particularly for caverns associated with the oil industry, is overseen by the *Canadian Standards Association (CSA)*, which functions similarly to the Polish Committee for Standardization. The CSA has estab-

ploatacji kawern solnych. Uregulowaniem tych przepisów, dotyczących jednak jedynie kawern, które ściśle związane są z przemysłem naftowym, zajęła się organizacja *Canadian Standard Association (CSA)*, będąca w pewnym sensie odpowiednikiem Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Powołano w niej grupę zajmującą się szeroko pojętym podziemnym magazynowaniem i składowaniem (*Technical Committee on Storage in Underground Formations*). W jej skład wchodzi przedstawiciele rządów poszczególnych prowincji, które są zainteresowane rozwojem kawern solnych, jak np. Alberta, Kolumbii Brytyjskiej, Ontario i Saskatchewan oraz firm zajmujących się budową i przede wszystkim eksploatacją kawern solnych. Wchodzi ona w skład większej grupy zajmującej się generalnie całokształtem przepisów i norm dotyczących przemysłu naftowego (*Strategic Steering Committee on Petroleum and Natural Gas*). Jednak ze względu na to, że nie jest to organizacja stricte rządowa, normy przez nią stworzone stanowią bardziej wytyczne, a nie rzeczywiste przepisy. Spotkania grupy odbywają się kilka razy w roku.

Wytyczne dotyczące podziemnego magazynowania i składowania wydawane są pod nazwą *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations*. Najnowsza edycja opublikowana została w roku 2022. Składa się z dwóch części. Pierwsza dotyczy kawern magazynowych, druga zaś kawern do składowania odpadów. W przeciwieństwie do norm *PN-EN 1918-3 Infrastruktura Gazowa, Podziemne Magazynowanie Gazu, Część 3: Zalecenia funkcjonalne dotyczące magazynowania w wylugowanych komór solnych* obowiązujących w Unii Europejskiej, które są bardzo ogólnikowe, wytyczne zawarte w *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations* są niezmiernie dokładne i dotyczą wszystkich aspektów budowy i eksploatacji kawern. Obejmują one zagadnienia poczynając od lokalizacji nowoprojektowanych kawern poprzez proces wiercenia, budowy, aż do eksploatacji i zabezpieczania nieczynnych już kawern. *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations* w przeciwieństwie do *PN-EN 1918-3*, który jest zbiorem dość ogólnikowych norm *Z341* stanowi w miarę szczegółową instrukcję budowy i eksploatacji kawern solnych.

Ze względu na brak federalnych przepisów obowiązujących w całej Kanadzie, rządy poszczególnych prowincji odpowiedzialne są za przepisy górnicze i każda z nich odnosi się trochę inaczej do wytycznych zawartych w *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations*. Poniżej przedstawione jest zestawienie dla poszczególnych prowincji:

- Alberta – normy zawarte w *Z341* nie są oficjalnie obowiązkowe, jednak *Alberta Energy Regulator (AER)* bardzo mocno zaleca ich przestrzeganie. Kawerny zbudowane zgodnie z zaleceniami *Z341* są dopuszczane do eksploatacji bez potrzeby wykonywania dodatkowych testów, z wyjątkiem testu szczelności (*Mechanical Integrity Test*), który jest obowiązkowy.

lished the *Technical Committee on Storage in Underground Formations* to address various aspects of underground storage and disposal. This committee includes representatives from the provincial governments interested in the development of salt caverns, such as Alberta, British Columbia, Ontario, and Saskatchewan, as well as companies involved in the construction and operation of salt caverns. The *Technical Committee on Storage in Underground Formations* is part of a larger group, the *Strategic Steering Committee on Petroleum and Natural Gas*, which oversees regulations and standards for the oil and gas industry. However, since the CSA is not a strictly governmental organization, the standards it develops serve more as guidelines rather than actual laws. The committee meets several times a year to discuss and update these standards.

The guidelines for underground storage and disposal are published under the name *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in Underground Formations*. The latest edition was released in 2022, consisting of two parts: one for storage caverns and the other for waste disposal caverns. Unlike the broad and general norms in the *PN-EN 1918-3 Gas Infrastructure, Underground Gas Storage, Part 3: Functional Recommendations for Storage in Leached Salt Caverns*, which are applicable in the European Union, the guidelines in the *Z341 Series* are extremely detailed, covering all aspects of the construction and operation of caverns. They address issues ranging from the location of newly designed caverns through drilling, construction, operation, and securing decommissioned caverns. The *Z341 Series* thus provides a comprehensive manual for building and operating salt caverns.

Due to the lack of federal regulations in Canada, the provincial governments are responsible for mining regulations, and each province treats the guidelines in the *Z341 Series* differently:

- Alberta: The guidelines in *Z341* are not officially mandatory, but the *Alberta Energy Regulator (AER)* strongly recommends compliance. Caverns built according to *Z341* are allowed to operate without additional testing, except for the mandatory leak test (*Mechanical Integrity Test*).
- British Columbia: Due to the absence of salt deposits, the government has not introduced official regulations for salt caverns but mandates adherence to *Z341* for underground gas hydrocarbon storage in porous formations.
- Nova Scotia: Has its regulations closely modeled on *Z341*.
- Ontario: Has adopted *Z341* as official regulations.
- Quebec: Like Nova Scotia, has regulations closely modeled on *Z341*.
- Saskatchewan: Strict adherence to *Z341* is recommended.

- Kolumbia Brytyjska – ze względu na brak złoża soli kamiennej na jej terenie, rząd nie wprowadził oficjalnych przepisów dotyczących kawern solnych, jednak nakazane jest przestrzeganie Z341 w stosunku do podziemnego magazynowania węglowodorów gazowych w porowatych formacjach.
- Nowa Szkocja – posiada własne przepisy ściśle wzorowane na Z341.
- Ontario – Z341 zostało przyjęte jako oficjalne przepisy obowiązujące w tej prowincji.
- Quebec – podobnie jak Nowa Szkocja posiada własne przepisy ściśle wzorowane na Z341.
- Saskatchewan – zalecane jest ściśle przestrzeganie Z341.

W Albercie istnieje pewien dość dziwny paradoks. Przepisom zawartym w Z341 podlegają jedynie kawerny magazynowe oraz kawerny przeznaczone do składowania odpadów związane bezpośrednio z przemysłem naftowym. Z drugiej strony, kawerny przeznaczone do produkcji solanki regulują jedynie przepisy zawarte w *Mines and Minerals Act* opublikowanym przez rząd Alberta. Wynika to z faktu, że kawerny użytkowane przez firmy związane z przemysłem naftowym podlegają zaś *Alberta Energy Regulator (AER)*. Jest to instytucja podlegająca rządowi prowincjonalnemu, mająca uprawnienia polskich Departamentów Ropy i Gazu oraz Górnictwa, ale tylko odnośnie do kopalnych surowców energetycznych. Taka sytuacja powoduje istnienie podwójnych standardów w górnictwie solnym, gdzie *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations* dość rygorystycznie określa zasady budowy oraz użytkowania kawern solnych, zaś *Mines and Minerals Act* podchodzi do tego tematu bardzo ogólnikowo. Wynika to prawdopodobnie z kilku powodów. Przede wszystkim na terenie prowincji występuje stosunkowo mała ilość kopalni otworowych solanki i znajdują się one generalnie z dala od dużych ośrodków miejskich na terenach o niewielkim zaludnieniu. Ponadto jak dotąd, oby nigdy, w prowincji Alberta nie doszło do wypadków związanych bezpośrednio z działalnością kopalni otworowych. Jednak kopalnie otworowe generalnie stosują się do zaleceń Z341. Prawdopodobnie największy wpływ na to ma możliwość późniejszej sprzedaży wyeksploatowanych kawern poprodukcyjnych firmom zajmującym się komercyjnym składowaniem odpadów. Aby do tego jednak mogło dojść i kawerny poprodukcyjne były dopuszczone do tego typu eksploatacji, muszą być budowane zgodnie z wytycznymi zawartymi w *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations*. W przeciwniej sytuacji mogą zostać niedopuszczone przez *Alberta Energy Regulator (AER)* do składowania odpadów, co stanowiłoby dużą stratę finansową dla inwestora.

Nieco odmienna sytuacja panuje w prowincji Saskatchewan, gdzie produkcja soli potasowej (metody otworowe i konwencjonalne) stanowi, poza rolnictwem, główną gałąź gospodarki i jest dużo bardziej rozwinięta od przemysłu wy-

A paradox exists in Alberta where only storage caverns and waste disposal caverns associated with the oil industry are subject to Z341 guidelines, whereas brine production caverns are regulated by the *Mines and Minerals Act* published by the Alberta government. This dual standard arises because caverns used by oil industry-related companies fall under the jurisdiction of the *Alberta Energy Regulator (AER)*. This institution, which operates under the provincial government, holds the authority equivalent to the Polish Departments of Oil and Gas and Mining, but exclusively for energy resources. This situation leads to double standards in salt mining, with the *Z341 Series* providing stringent rules for the construction and use of salt caverns, while the *Mines and Minerals Act* adopts a more general approach. This likely arises from several factors. First and foremost, there is a relatively small number of solution mines within the province, and these are generally located away from major urban centers in sparsely populated areas. Additionally, to date—hopefully never—there have been no accidents directly associated with borehole mining activities in Alberta. However, borehole mines generally adhere to the recommendations of the *Z341 Series*. The possibility of later selling depleted production caverns to companies engaged in commercial waste storage likely has the greatest influence on this compliance. For such transactions to occur and for depleted caverns to be approved for this type of exploitation, they must be constructed in accordance with the guidelines contained in the *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in Underground Formations*. Otherwise, they may be deemed unsuitable by the *Alberta Energy Regulator (AER)* for waste storage, which would represent a significant financial loss for the investor.

A somewhat different situation exists in the province of Saskatchewan, where potash production, using both borehole and conventional mining methods, is a primary economic sector alongside agriculture. This industry is much more developed than the hydrocarbon extraction industry (Labbe, Kelly, 2009). Consequently, companies do not consider the possibility of converting caverns for waste storage in the future. Instead, they focus exclusively on maximizing brine production.

3. WASTE DISPOSAL CAVERNS

Waste disposal in caverns is closely tied to the industry. It was first used in England for the disposal of chemical industry waste (Thoms, Gehle, 2000). In Alberta, the dominant industry is oil, which determines the type of waste stored in salt caverns. Due to the extensive use of unconventional extraction methods (such as open-pit and thermal techniques) tailored to the specific nature of heavy bitumen deposits, large quantities of environmentally hazardous waste are produced,

dobywczego węglowodorów (Labbe, Kelly, 2009). Z tego względu, firmy nie uwzględniają możliwości późniejszej konwersji kawern z przeznaczeniem ich na składowiska odpadów i nastawione są wyłącznie na maksymalną produkcję solanki.

3. ODPADY SKŁADOWANE W KAWERNACH

Kawerny do składowania odpadów od samego początku ściśle związane są z przemysłem. Po raz pierwszy wykorzystano je do tego celu w Anglii, w celu utylizacji odpadów pochodzących z przemysłu chemicznego (Thoms, Gehle, 2000). W Albercie dominującą gałęzią gospodarki jest przemysł naftowy i to właśnie warunkuje rodzaj odpadów, które są składowane w kawern solnych. Ze względu na szerokie zastosowanie niekonwencjonalnych metod eksploatacji (metoda odkrywkowa i termalna) dostosowanych do specyficznego charakteru złóż ciężkich bituminów, powstają bardzo duże ilości odpadów niebezpiecznych dla środowiska naturalnego. Generuje to potrzebę ich bezpiecznego odizolowania i jak do tej pory najlepszym rozwiązaniem tego problemu są właśnie kawerny solne.

Przepisy regulujące rodzaj odpadów, których zatłaczanie do kawern solnych jest dozwolone zawarte są w czwartej części *Z341.4-22 Salt cavern waste disposal* w paragrafie 1.2. Są to generalnie substancje powstałe w wyniku poszukiwania, wiercenia, uzbrojenia węglanego otworów, produkcji, likwidacji starych otworów, przeróbki oraz transportu ropy naftowej lub produktów ropopochodnych, między innymi takie jak:

- płuczki wiertnicze,
- zwierciny,
- odpady z procesów szczelinowania,
- piaski poprodukcyjne,
- osady ze zbiorników,
- gleba zanieczyszczona ropa naftowa i produktami ropopochodnymi,
- gleba zanieczyszczona solą (NaCl),
- odpady ciekłe i stałe z produkcji pary używanej w metodzie SAGD oraz do napędu generatorów parowych.
- solankę oraz osady denne ze stawów solankowych,
- osady z procesu uzdatniania wody.

Ze względu na źródło ich pochodzenia, odpady te można podzielić pięć głównych grup:

- Odpady powstałe podczas procesu wiercenia otworów:
 - płuczka wiertnicza
 - zwierciny
 - skażona ziemia
- Odpady powstałe w wyniku konwencjonalnego wydobywania ropy i gazu:
 - woda
 - piasek
 - proppant

necessitating safe isolation, for which salt caverns are currently the best solution.

Regulations governing the types of waste permissible for disposal in salt caverns are detailed in Section 4 of *Z341.4-22 Salt Cavern Waste Disposal*, specifically in Paragraph 1.2. These regulations generally cover substances resulting from the exploration, drilling, wells completion, production, abandonment of old wells, processing, and transportation of crude oil or petroleum products. The types of waste allowed include:

- Drilling muds
- Cuttings
- Waste from hydraulic fracturing processes
- Production sands
- Tank sludge
- Soil contaminated with crude oil and petroleum products
- Soil contaminated with salt (NaCl)
- Liquid and solid waste from steam production used in SAGD methods and for driving steam generators
- Brine and sediment from brine ponds
- Sludge from water treatment processes

Based on their source, these wastes can be divided into five main categories:

- Waste from the drilling process:
 - Drilling muds
 - Cuttings
 - Contaminated soil
- Waste from conventional oil and gas extraction:
 - Water
 - Sand
 - Proppant
- Waste from thermal extraction of heavy hydrocarbons (SAGD and CSS):
 - Sand
 - Blowdown water (wastewater from steam production)
 - Production water
- Waste from open-pit mining of bituminous sands:
 - Sand
 - Water
- Other waste:
 - Chemical industry byproducts

Wastes injected into the cavern should be in either solid or liquid form and must not occur as colloidal suspensions in brine. Additionally, the specific gravity of the solid fraction should be higher than that of the brine to ensure that the waste settles quickly at the bottom of the cavern.

The next paragraph, 1.3 (*Z341.4-22*), lists **substances that are strictly prohibited from being injected into salt caverns. These include:**

- Spent nuclear fuel
- Radioactive substances

- Odpady z wydobycia ciężkich węglowodorów metodami termicznymi (SAGD i CSS)
 - piasek
 - odpady po produkcji pary wodnej (blowndown water)
 - woda poprodukcyjna (production water)
- Odpady pochodzące z kopalń odkrywkowych piasków bitumicznych
 - piasek
 - woda
- Inne odpady
 - przemysł chemiczny.

Odpady zatłaczane do kawerny powinny należeć do frakcji stałej lub ciekłej zaś nie powinny występować w formie koloidalnej zawiesiny w solance. Ponadto ciężar właściwy frakcji stałej powinien być większy od ciężaru właściwego solanki w celu szybkiej ich sedimentacji na dnie kawerny.

Z kolei następny paragraf 1.3 (Z341.4-22) wymienia **substancje, których zatłaczanie do kawern solnych jest bezwzględnie zabronione**. Są to:

- zużyte paliwo jądrowe,
- substancje radioaktywne,
- odpady biologiczne,
- odpady, których pH jest mniejsze od 4,5 albo większe od 12,5,
- substancje których temperatura zapłonu jest poniżej 60,5°C,
- substancje zawierające siarkowodór (H_2S) o stężeniu powyżej 1% (10 mol).

Jak widać z powyższych przepisów, w Kanadzie zabronione jest składowanie w kawernach solnych odpadów radioaktywnych. Jednak wraz z rosnącym wydobyciem węglowodorów metodami niekonwencyjnym, jak produkcja gazu łupkowego metodą szczelinowania hydraulicznego pojawił się nowy typ odpadów charakteryzujących się naturalnym promieniowaniem *Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)* (Veil i in., 1998a, 1998b). Podczas procesu wydobycia i przetwarzania ropy naftowej oraz gazu mogą tworzyć się nagromadzenia odpadów o podwyższonym naturalnym promieniu. W większości przypadków źródłem ich podwyższonej radioaktywności są izotopy uranu-238 (U-238) i toru-232 (Th-232), które często obecne są w formacjach skalnych z których wydobywane są ropa i gaz. Jednak dopiero radioizotopy rad-226 (Ra-226) powstający w wyniku rozpadu uranu-238 (U-238) oraz rad-228 (Ra-228) będący wynikiem rozpadu toru-232 (Th-232) mogą stanowić pewne zagrożenie. Inne izotopy promieniotwórcze będące przedmiotem zainteresowania obejmują radionuklidy, które powstają w wyniku rozpadu Ra-226 i Ra-228, takie jak radon-222 (Ra-222). Ich zwiększone stężenie wywołuje już jednak skażenie, które może obejmować wodę poprodukcyjną, fragmenty skał oraz szlam (Smith i in., 1995). Składowanie tego typu odpadów w kawernach solnych w Kanadzie i USA jest już dozwolone

- Biological waste
- Waste with a pH below 4.5 or above 12.5
- Substances with an ignition temperature below 60.5°C
- Substances containing hydrogen sulfide (H_2S) at concentrations above 1% (10 mol)

As outlined in the regulations, the storage of radioactive waste in salt caverns is prohibited in Canada. However, with the rise in unconventional extraction methods, such as hydraulic fracturing for shale gas production, a new type of waste characterized by natural radioactivity, known as *Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)*, has emerged (Veil et al., 1998a, 1998b). During the extraction and processing of oil and gas, waste with elevated natural radioactivity can accumulate. Typically, this increased radioactivity comes from isotopes of uranium-238 (U-238) and thorium-232 (Th-232), which are commonly found in the rock formations from which oil and gas are extracted. However, the primary concern arises from the radioisotopes radium-226 (Ra-226), a decay product of U-238, and radium-228 (Ra-228), a decay product of Th-232. Other radioactive isotopes of interest include radionuclides that are produced from the decay of Ra-226 and Ra-228, such as radon-222 (Ra-222). Elevated levels of these radioactive substances can lead to contamination of produced water, rock fragments, and sludge (Smith et al., 1995). Although the disposal of such waste in salt caverns is permitted in both Canada and the USA, it requires careful management. Special attention is needed during the removal of hanging pipe columns from caverns due to the frequent presence of contaminated sediment on their walls (Z341.4-22, 2022).

4. REGULATIONS REGARDING THE DISPOSAL OF CONTAMINATED WATER INTO DISPOSAL WELLS

Another critical aspect regulated in Alberta for waste disposal in salt caverns is the injection of brine into disposal wells. These regulations are detailed in *Directive 051: Injection and Disposal Wells—Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements*, issued on March 1, 1994, by the *Energy Resources Conservation Board*, the predecessor to the current *Alberta Energy Regulator (AER)*. This document provides comprehensive guidelines on well construction, completion, testing, operation, and classification of injected liquid wastes, with a primary focus on environmental protection, particularly groundwater preservation. In Alberta, groundwater is fully protected to depths ranging from 65 to 600 meters, depending on the region. Below these depths, the injection of liquid wastes into porous formations is permitted, provided these formations are well isolated from protected layers and the formation waters have a salinity exceeding 4000 mg/liter. The average depth of disposal wells in Alberta

ne. Wymaga ono jednak wzmożonej uwagi, szczególnie podczas operacji wyjmowania kolumn rur wiszących z kawerny, głównie ze względu na częstą obecność skażonego osadu na ich ścianach (Z341.4.22 2022).

4. REGULACJE PRAWNE DOTYCZĄCE ZRZUTU ZANIECZYSZCZONEJ WODY DO OTWORÓW ZRZUTOWYCH

Kolejnym aspektem niezbędnym podczas składowania odpadów w kawernach solnych który został dokładnie uregulowany w Albercie przez przepisy jest zatłaczanie solanki do otworów zrzutowych. Zawarte one są w *Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements* z dnia 1 marca 1994 wydane przez *Energy Resources Conservation Board*, która była poprzednikiem obecnej *Alberta Energy Regulator (AER)*. Dokument ten dostarcza informacji na temat budowy i uzbrojenia otworów, testów, eksploatacji oraz klasyfikacji zatłaczanych odpadów płynnych z których najważniejsze są przepisy dotyczące ochrony środowiska, a w szczególności wód podziemnych. W prowincji Alberta całkowitą ochroną objęte są wody podziemne znajdujące się, w zależności od rejonu, do głębokości 65 – 600 metrów. Poniżej tej głębokości możliwe jest zatłaczanie odpadów płynnych do formacji porowatych, które charakteryzują się dobrą izolacją od warstw objętych ochroną, oraz wody złożowe w nich występujące mają mineralizację powyżej 4000 mg/litr. Średnio głębokość otworów zrzutowych w prowincji Alberta waha się pomiędzy 750 a 1250 metrów, zaś naj płytszy otwór, który został dopuszczony do zatłaczania odpadów ma głębokość jedynie 178 m.

- **Odpady dozwolone do zatłaczania do otworów zrzutowych**
- nie spełniające kryteriów zrzutu do wód powierzchniowych,
- pH pomiędzy 4,5 a 12,5,
- zawierające niechlorowane odpady organiczne w ilości mniejszej od 10% masy (10000 mg/kg), jeżeli nie jest to:
 - nieprzetworzona emulsja, składająca się z wody i ropy naftowej lub piasek poeksploacyjny,
 - płyn niezamarzający lub odwadniający, który zawiera ponad 60% wody,
- zawiera jeden lub więcej chlorowanych składników organicznych o całkowitym sumarycznym stężeniu mniejszym od 1000mg/kg,
- stężenie polichlorowanych bifenyli (ang. *polychlorinated biphenyls, PCB*) jest poniżej 50 mg/kg.
- **Substancje, których zrzut jest niedozwolony**
- ścieki komunalne lub przemysłowe, które podlegają standardowemu procesowi oczyszczania,

ranges from 750 to 1250 meters, with the shallowest approved disposal well being only 178 meters deep.

- **Wastes Permitted for Injection into Disposal Wells**
- Wastes that do not meet the criteria for discharge into surface waters
- Wastes with a pH between 4.5 and 12.5
- Wastes containing non-chlorinated organic materials in amounts less than 10% by mass (10000 mg/kg), except for:
- Unprocessed emulsions consisting of water and crude oil or post-extraction sand
- Antifreeze or dewatering fluids containing more than 60% water
- Wastes containing one or more chlorinated organic components with a total combined concentration of less than 1000 mg/kg
- Wastes with polychlorinated biphenyls (PCBs) concentration below 50 mg/kg
- **Substances Prohibited from Injection**
- Municipal or industrial wastewater is subject to standard treatment processes
- Water allowed for surface discharge or with low treatment costs
- Used oils, greases, and solvents
- Oil-based drilling mud (inverted mud)
- Wastes for which existing treatment processes are neither costly nor complex

5. CONCLUSION

The establishment of robust and transparent legal frameworks in Canada regarding the construction and operation of salt caverns, as well as the regulation of brine injection into porous rock formations, has facilitated the rapid development of this method for industrial waste disposal. Consequently, it is intriguing to compare the regulations in Canada with those in Poland. The entire fourth section of the *Z341 Series*, titled “*Z341.4-22 Salt Cavern Waste Disposal*,” is dedicated to caverns intended for waste storage. This section not only provides guidelines for their construction—from geological surveys and drilling to final integrity testing—but also specifies the types of waste that can be stored in these caverns and lists substances that are strictly prohibited from being injected into them.

In contrast, the regulations in Poland, and the broader European Union, are outlined in *PN-EN 1918-3 “Gas Infrastructure - Underground Gas Storage - Part 3: Functional Recommendations for Storage in Leached Salt Caverns,”* which focuses on gas storage caverns. This difference is due to the distinct characteristics of the two markets. In Western Canada, as previously mentioned, natural gas production significantly exceeds demand, eliminating the need to maintain

- woda, której zrzut na powierzchnię jest dozwolony albo koszt jej oczyszczenia nie jest wysoki,
- zużyte oleje, smary i rozpuszczalniki,
- płuczka wiertnicza na bazie oleju napędowego (*invert mud*),
- odpady, których proces oczyszczenia istnieje i nie jest kosztowny.

5. PODSUMOWANIE

Stworzenie w Kanadzie solidnych i przejrzystych podstaw prawnych dotyczących budowy oraz eksploatacji kawern solnych, oraz regulujących możliwość zatłaczania solanki w porowatych formacjach skalnych, pozwoliło na szybki rozwój tej metody utylizacji odpadów przemysłowych. Z tego względu, interesująco wygląda porównanie przepisów obowiązujących w Kanadzie i Polsce. Cała czwarta część *Z341 Series Storage of Hydrocarbons in underground formations* zatytułowana *Z341.4-22 Salt cavern waste disposal* poświęcona jest kawernom przeznaczonym do składowania odpadów. Poza wytycznymi odnośnie ich budowy, poczynając od badań geologicznych i wiercenia, aż po końcowe testy szczelności, określa ona również dokładnie rodzaje odpadów, których składowanie w kawernach jest dozwolone, oraz substancje, których zatłaczanie do kawern jest surowo zabronione. Obowiązujące zaś w Polsce, jak i w całej Unii Europejskiej *PN-EN 1918-3 Infrastruktura Gazowa Podziemne Magazynowanie Gazu Część 3: Zalecenia funkcjonalne dotyczące magazynowania w wylugowanych komorach solnych* dotyczy kawern magazynowych gazu. Jest to wynikiem odmiennej specyfiki obu rynków. W Zachodniej Kanadzie, jak już wcześniej wspomniano, produkcja gazu ziemnego znacznie przewyższa zapotrzebowanie i z tego względu, nie ma potrzeby utrzymywania strategicznych rezerw tego surowca. Ponadto, w złożach pokładowych soli o stosunkowo małej miąższości залегаjących na dużych głębokościach (ok. 2000 m) w Zachodniej Kanadzie nie ma możliwości budowy w miarę dużych magazynów gazu. Obecnie istniejąca niewielka liczba kawern przeznaczonych do magazynowania gazu ziemnego, pełni raczej rolę zbiorników buforowych niż w pełnym słowa znaczeniu magazynów tego surowca.

Całkowicie odmienna sytuacja ma miejsce w Europie, która jest generalnie uzależniona od importu tego surowca i posiadanie zapasów strategicznych jest niezbędne. Ponadto, w Europie występują liczne złoża wysadowe soli kamiennej, idealnie nadające się do lokalizacji w nich magazynów tego surowca. Z tych dwóch głównych powodów, jak do tej pory największy nacisk kładziony jest na kawerny solne przeznaczone właśnie do magazynowania gazu. Z drugiej strony, w Europie składowanie odpadów w kawernach solnych wciąż nie jest szeroko rozpowszechnione i ma bardzo lokalne znaczenie (Warren, 2016). Tego typu kawerny użytkowane są

strategic reserves of this resource. Furthermore, the relatively thin salt beds found at great depths (around 2000 meters) in Western Canada do not allow for the construction of large gas storage facilities. The few existing caverns designated for natural gas storage primarily serve as buffer tanks rather than full-scale storage facilities.

The situation in Europe is entirely different, as the continent is generally dependent on the import of natural gas, making the possession of strategic reserves essential. Moreover, Europe has numerous domal rock salt deposits that are ideally suited for natural gas storage. For these two main reasons, the focus has so far been primarily on salt caverns intended for natural gas storage. Conversely, in Europe, the disposal of waste in salt caverns is still not widespread and has very local significance (Warren, 2016). Such caverns are used only to a very limited extent in the United Kingdom and the Netherlands (Wassmann, 1983; Hoather, Challinor, 1994), while in Germany, tests have been conducted for the disposal of various types of waste (Langer, 1993, Lorenzen, 2003). Perhaps one of the primary reasons for the limited interest in Europe in using salt caverns for waste disposal is the lack of appropriate regulations on this issue. As a result, local regulations apply in each of these countries (Langer, 1993, Veil, 1996).

In Poland, the primary document regulating salt borehole mining is the *Geological and Mining Law (Dz. U. 2011 nr 163, poz. 981, dated June 9, 2011)*, while the regulations concerning waste classification are contained in the *Regulation of the Minister of Climate (Dz. U. 2020, poz. 10, dated January 2, 2020)* on the waste catalog. Additionally, the rules regarding the disposal of specific types of waste are regulated by the *Regulation of the Minister of Environment (Dz. U. 2015, poz. 796, dated May 11, 2015)* on the recovery of waste outside installations and devices.

The above conclusions indicate that, despite the complexity and potential risks, properly implemented regulations and continuous regulatory oversight can effectively manage the process of waste disposal in salt caverns, ensuring environmental protection and public health. This underscores the potential value of developing similar legal frameworks in Poland, tailored to its specific needs and conditions.

jedynie w bardzo ograniczonym zakresie w Wielkiej Brytanii i Holandii (Wassmann, 1983; Hoather, Challinor, 1994), zaś w Niemczech, przeprowadzone zostały testy składowania różnych typów odpadów (Langer, 1993, Lorenzen, 2003). Prawdopodobnie jedną z podstawowych przyczyn tak małego zainteresowania w Europie składowaniem odpadów w kawernach solnych, jest jak dotąd, brak odpowiednich regulacji dotyczących tego zagadnienia. Z tego względu, w każdym z tych krajów mają zastosowanie lokalne przepisy (Langer, 1993, Veil, 1996).

W Polsce, podstawowym dokumentem regulującym solne górnictwo otworowe jest *Prawo geologiczne i górnicze* (Dz. U. 2011 nr 163, poz. 981 z dnia 9 czerwca 2011 r.), zaś przepisy dotyczące klasyfikacji odpadów zawarte są w *Rozporządzeniu Ministra Klimatu* (Dz. U. 2020, poz. 10 z dnia 2 stycznia 2020 r) w sprawie katalogu odpadów. Z kolei, przepisy dotyczące możliwości składowania poszczególnych typów odpadów, reguluje *Rozporządzenie Ministra Środowiska* (Dz. U. 2015, poz. 796 z dnia 11 maja 2015 r) w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami.

Powyższej opisane wnioski wskazują, że pomimo złożoności i potencjalnych zagrożeń, prawidłowo wdrożone przepisy oraz stały nadzór regulacyjny mogą skutecznie zarządzać procesem składowania odpadów w kawernach solnych, zapewniając jednocześnie ochronę środowiska i zdrowia publicznego. Patrząc się na to może by było warto stworzyć podobne podstawy prawne w Polsce odpowiednio dostosowane do polskich realiów i potrzeb.

LITERATURA/ REFERENCES

- BRASSOW C.L., THOMAS, R.L., 2000. Use of Solution – Mined Salt Caverns for the Disposal of Hazardous and Industrial Waste Products, 8th World Salt Symposium, 7 - 11 May 2000: 229-235, The Hague, The Netherlands.
- BRASSOW C.L., 2006. Update of US Gulf Coast Area Oilfield Waste Disposal Projects, Spring Conference Brussels, Belgium.
- HOATHER H., CHALLINOR D., 1994. The Use of Salt Cavities for the Disposal of Waste, Solution Mining Research Institute, Fall 1994 Conference, Hannover, Germany.
- LABBE P., KELLY D., 2009. A Saskatchewan Potash Review, World Salt Symposium, 2009 Fall, Beijing.
- LANGER M., 1993, Use of solution-mined caverns in salt for oil and gas storage and toxic waste disposal in Germany, Engineering Geology, Volume 35, Issues 3–4, October 1993, Pages 183-190
- LORENZEN H.E., 2003, Solids Fill in Salt Caverns – A Struggle with Laws of Physics and Authorities, SMRI Fall 2003 Meeting, Chester, UK October 5 to 8, 2003.
- SMITH K.P., BLUNT D.L., WILLIAMS G.P., TEBES C.L., 1995. Radiological Dose Assessment Related to Management of Naturally Occurring Radioactive Materials Generated by the Petroleum Industry, SPE/EPA Exploration and Production Environmental Conference, document SPE-29712-MS, Houston, Texas, USA.
- THOMS R.L., GEHLE R.M., 2000. A brief history of salt cavern use (keynote paper). Proc. 8th World Salt Symp., R.M. Geertman ed., Elsevier, p. 207-214.
- VEIL, J., 1996. Salt caverns show promise for nonhazardous oil field waste disposal. *Oil & Gas Journal* 94, 47: 42-45.
- VEIL J., SMITH K., TOMASKO D., ELCOCK D., WILLIAMS G., BLUNT D., 1998a. Disposal of NORM-Contaminated Oil Field Wastes in Salt Caverns - Legal, Economic and Risk Issues Solution Mining Research Institute, SMRI Spring 1998 Meeting, New Orleans, Louisiana, USA, April 19-22, 1998.
- VEIL J. A., SMITH K. P., TOMASKO D., ELCOCK D., BLUNT D., WILLIAMS G. P., 1998b. Disposal of NORM-contaminated oil field wastes in Salt Caverns, Technical Report, US Department of Energy (US).
- WARREN J. K., 2016. Evaporites A Geological Compendium, Second Edition, Springer.
- WASSMANN, T. H., 1983. Cavity utilization in the Netherlands, Sixth International Symposium on Salt, v. II: 191–201.

USTAWY I NORMY/ LEGISLATIONS AND STANDARDS

Directive 051: Injection and Disposal Wells – Well Classifications, Completions, Logging, and Testing Requirements, March 1994, Energy Resources Conservation Board (aktualnie Alberta Energy Regulator (AER)).

PN-EN 1918-3 Infrastruktura Gazowa Podziemne Magazynowanie Gazu Część 3: Zalecenia funkcjonalne dotyczące magazynowania w wylugowanych komorach solnych, Polski Komitet Normalizacyjny Polska Norma, Warszawa 2016.

Z341-22 Storage of hydrocarbons in underground formations, 2022, Canadian Standard Association.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 maja 2015 r. w sprawie odzysku odpadów poza instalacjami i urządzeniami. Dzien-

nik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Warszawa, dnia 12 czerwca 2015 r. Poz. 796.

Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 2 stycznia 2020 r. w sprawie katalogu odpadów. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Warszawa, dnia 3 stycznia 2020 r. Poz. 10

Prawo geologiczne i górnicze. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Warszawa, rok 2011, |Nr 163 poz. 981, Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r.

Mines and Minerals Act, RSA 2000, c M-17, Legislative Assembly of Alberta,

https://kings-printer.alberta.ca/1266.cfm?page=M17.cfm&leg_type=Acts&isbncln=9780779847044.